



Análisis energético en lecherías de la región pampeana Argentina. Parte 1. Flujos de energía¹

Energy analysis in dairies of the Argentina Pampa's region. Part 1. Energy flows

Gustavo Daniel Gimenez^{2,3}, Bruno Idelfonso Novaira³, Pablo Roberto Marini^{3,4}

- ¹ Recepción: 11 de noviembre, 2021. Aceptación: 16 de febrero, 2022. Este trabajo se originó a partir de la base de datos colectada por el primer autor, para su tesis doctoral intitulada "Evaluación de huellas ambientales seleccionadas en sistemas de producción primaria de leche con distintos niveles de intensificación, de la cuenca lechera central argentina" (2021), desarrollada para la Carrera de Posgrado Doctorado en Cs. Veterinarias de la Universidad Nacional de Rosario, respaldada por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). El trabajo se desarrolló en dos partes, esta primera en la cual se describen los principales modelos de sistemas lecheros existentes en la región analizada, cada cual explicado a partir de flujogramas de energía y una segunda parte, en la cual se realizó la contabilidad energética, al cuantificar los ingresos, egresos y eficiencia energética del proceso de producción primaria de leche bovina.
- ² Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Agencia de Extensión Rural Roldán. Catamarca 948, Roldán, S2134ANY, Santa Fe, Argentina. zootecnista.gimenez@gmail.com (autor para correspondencia; <https://orcid.org/0000-0003-3089-0457>).
- ³ Universidad Nacional de Rosario. Facultad de Ciencias Veterinarias. Centro Latinoamericano de Estudios de Problemáticas Lecheras. Ruta 33 y Ovidio Lagos, Casilda, S2170HGJ, Santa Fe, Argentina. bnovaira@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-7941-772X>).
- ⁴ Universidad Nacional de Rosario. Carrera de Investigador Científico (CIC). Maipú 1065, Rosario, S2000CGK, Santa Fe, Argentina. pmarini@unr.edu.ar (<https://orcid.org/0000-0003-0826-0387>).

Resumen

Introducción. La heterogeneidad de los sistemas agropecuarios dificulta evaluar su sustentabilidad, pues no existen herramientas que puedan aplicarse a la generalidad de los casos, con indicadores de fácil comprensión por los actores del medio. Una herramienta de uso posible es el análisis energético. **Objetivos.** Contextualizar la heterogeneidad de los modelos de producción primaria de leche, con base en flujogramas de energía. **Materiales y métodos.** Se trabajó con datos retrospectivos de nueve establecimientos comerciales de producción de leche en la Región Pampeana Argentina, durante el período comprendido entre julio de 2014 a junio de 2015. Estos se diferenciaron según variables como carga animal y nivel de suplementación alimentaria. Se utilizó la metodología de estudio de casos, con análisis energéticos para cada caso, configurándose para cada uno flujogramas y cuantificándose ingresos, egresos y eficiencia de uso de la energía. **Resultados.** Se determinó la existencia de tres tipos de sistemas: mixto lechero-agrícola con invernada (proceso de engorde), mixto lechero-agrícola y lechero puro con invernada. Los sistemas mixtos son importantes por el caudal energético que aportan la agricultura, para compensar la significativa pérdida de energía de los subsistemas de leche y carne; sin embargo, los sistemas ganaderos puros resultaron más eficientes en el uso de la energía, debido al menor consumo energético y a la producción forrajera. **Conclusiones.** El análisis energético resultó útil para caracterizar la heterogeneidad entre sistemas a partir de la construcción de flujogramas. También permitió evaluar aspectos sociales y ambientales, que en análisis tradicionales quedan excluidos; pero que, dado el volumen del flujo energético que proveen, motivan la necesidad de incluirlos en la contabilidad por su importancia para el proceso lechero y por el estrecho vínculo entre naturaleza y sociedad, asociado al complejo hombre-ecosistema.

Palabras clave: sustentabilidad, producción de leche bovina, gestión de la energía, flujos energéticos.



Abstract

Introduction. The heterogeneity of agricultural systems makes it difficult to assess their sustainability, since there are no tools that can be applied to most cases, with indicators that are easily understood by the stakeholders in the field. One possible tool for use is energy analysis. **Objectives.** To contextualize the heterogeneity of primary milk production models, based on energy flowcharts. **Materials and methods.** A retrospective data from nine commercial milk production establishments in the Argentine Pampas Region, during the period from July 2014 to June 2015 were worked with. These were differentiated according to variables such as animal stocking rate and level of feed supplementation. The case study methodology was used, with energy analysis for each case, configuring flowcharts for each one, and quantifying inputs, outputs, and energy use efficiency. **Results.** The existence of three systems was determined: mixed dairy-agricultural with fattening, mixed dairy-agricultural, and pure dairy with fattening. The mixed systems are important, due to the energy flow provided by agriculture to compensate for the significant energy loss of the milk and meat subsystems; however, the purely livestock systems turned out to be more efficient in energy use, due to lower energy consumption and forage production. **Conclusions.** The energy analysis was useful to characterize the heterogeneity between systems through the construction of flow charts. It also allowed evaluating social and environmental aspects, which in traditional analyzes are excluded; but which, given the volume of energy flow they provide, motivate the need to include them in accounting due to their importance for the dairy process and due to the close link between nature and society, associated with the man-ecosystem complex.

Keywords: sustainability, bovine milk production, energy management, energy flows.

Introducción

En el contexto global, desde múltiples sectores se propone el consumo de bienes en general y mercancía, en particular, producidos con el menor impacto posible sobre el ambiente (Baldini & Mendizábal, 2019; Proyecto Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario del Cono Sur [PROCISUR], 2000). Existe una gama de herramientas viables para evaluar la sustentabilidad de los sistemas (Thomassen & de Boer, 2005). Algunas generales abarcan el análisis de las dimensiones económico-productiva, sociocultural y ecológico-ambiental (Kent, 2016; Milo Vaccaro et al., 2018; Vilain, 2000); no obstante, la cantidad de indicadores necesarios para la evaluación completa es ostentosa y algunos de ellos resultan complicados (por la dificultad de recolectar datos, por la forma de cálculo, por su comprensión) (Rigby & Cáceres, 2001; Toro et al., 2010). La comprensión de los datos condiciona en oportunidades la aplicación de normas de gestión ambiental o la adecuación de políticas públicas, ya que los indicadores propuestos son de difícil entendimiento por los productores y los tomadores de decisión.

Los actuales modelos agropecuarios argentinos (puros y mixtos), presentan una marcada heterogeneidad en sus planteos y modos de producción. Esta característica es extrapolable a los tambos⁵ o lecherías (Petrecolla, 2016), sector primario en el cual se advierten sistemas en confinamiento, semiconfinamiento y modelos bajo pastoreo con distintos niveles de intensificación.

La actividad agropecuaria “es a la vez usuario y generador de energía” (Montico et al., 2007); la produce al transformar la aportada por el sol en alimentos para seres humanos y animales (Denoia et al., 2008; Montico et al., 2007).

⁵ Según RAE, tambo procede del vocablo quechua *tampu*, en algunos países de Sudamérica (como Argentina, Paraguay y Uruguay) define al establecimiento ganadero destinado al ordeño de vacas y a la venta de leche, por lo general al por mayor.

Durante los procesos de tecnificación e intensificación de la agricultura en los países desarrollados, se implementaron mecanismos para reemplazar la energía proveniente del trabajo humano y animal, lo que llevó a aumentar el uso de energía fósil (Pfeiffer, 2006). Esta historia que hoy se repite en los países en vías de desarrollo, genera un modelo aplicado en agricultura (dependiente de un paquete tecnológico basado en semillas de alto potencial de rendimiento, biocidas y fertilizantes sintéticos) cuestionado por requerir cantidades altas y crecientes de insumos, lo que implica elevados costos energéticos (Chamorro et al., 2015; Denoia et al., 2008); en tanto que el modelo ganadero en confinamiento y parte del paquete tecnológico adaptado a los cultivos forrajeros también resulta cuestionado, por sus emisiones de gases con efecto invernadero (GEI) a la atmósfera y por el consumo de agua dulce (Steinfeld et al., 2009). En la situación particular de la lechería se pueden mencionar el escaso aporte en la gestión ambiental (Litwin et al., 2017), con una problemática relevante por los importantes volúmenes de agua utilizados y el consumo de energía fósil (Gimenez, 2017; Rótolo & Charlón, 2013). Todo ello aporta un fuerte sustento a la selección del análisis energético como método útil para el estudio.

El análisis de la energía incorporada se emplea desde 1970, con el objeto de analizar los flujos de energía en la producción agrícola (Pimentel & Pimentel, 2007), determinar la energía requerida para producir un bien o servicio (Aleman Pérez & Brito Flores, 2003; Brown & Herendeen, 1996) y conectar las actividades humanas con la demanda de energía (Brown & Herendeen, 1996; Herendeen, 2004; Valdés et al., 2009). Resulta factible justificar este trabajo sobre la proposición de que el flujo energético permite relacionar conceptos físicos establecidos en las leyes de la termodinámica, con procesos bioquímicos (como fotosíntesis y respiración) y biológicos (debido a la interacción entre especies) (Montico et al., 2007; Paruelo & Batista, 2006). Aunque un diagrama de flujos no es más que un modelo conceptual que simplifica la realidad, permite abordar sistemas complejos, establecer sus componentes principales y determinar sus factores de control y líneas directrices (Torres-Verzagas et al., 2019); en tanto que de la precisión de dicho modelo van a depender los resultados obtenidos *a posteriori*.

El objetivo fue contextualizar la heterogeneidad de los modelos de producción primaria de leche, con base en diagramas de flujos de energía.

Materiales y métodos

La Región Pampeana Argentina agrupa a las provincias de Buenos Aires, Córdoba, Entre Ríos, La Pampa y Santa Fe, en una superficie de 500 000 km² (Buelink et al., 1996). Esta extensión muestra una gran variabilidad edáfica, con predominio de suelos francos (cuenca de Villa María, Córdoba), franco-arenosos y arenosos (hacia La Pampa), argiudoles en la zona central y vertisoles hacia el oriente (Entre Ríos). Respecto de las condiciones climáticas, la región es de tipo templado, con temperaturas medias entre 16 y 18 °C y precipitaciones entre 790 y 900 mm anuales, bajo un régimen de tipo monzónico (Patiño, 2005). En este ámbito se desarrolla la Cuenca Lechera Central, donde se concentran más de 11 000 lecherías (94,7 % de las unidades productivas del país).

El valor promedio de producción de leche se estima en 2870 L diarios, obtenidos a partir de una producción individual de 19,2 L por vaca en ordeño y por día (L/VO/día) y una carga media de 1,32 vacas totales por hectárea vaca total (VT/haVT) (Gastaldi et al., 2015).

Información proporcionada por la encuesta sectorial lechera del Programa Nacional de Producción Animal (PNPA 1126043) (Gastaldi et al., 2016), muestra una heterogeneidad en los modelos de producción lecheros, en sus condiciones de intensificación, propuesta en términos de carga animal y nivel de suplementación alimentaria. Con este criterio, se trabajó con datos retrospectivos de nueve establecimientos reales de producción primaria de leche a escala comercial en la mencionada región, durante el período comprendido entre julio de 2014 a junio de 2015. Estos difirieron en sus niveles de carga animal y suplementación (alta, media y baja para cada parámetro,

determinándose nueve combinaciones posibles). Las características principales de los establecimientos se observan en Cuadro 1.

Cuadro 1. Características de los nueve casos estudiados (establecimientos lecheros comerciales situados en las provincias de Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos, Argentina) durante el período de evaluación y análisis energético, 2014-2015.

Table 1. Characteristics of nine cases studied (commercial dairy farms located in Córdoba, Santa Fe, and Entre Rios, provinces of Argentina) during the evaluation and energy analysis period, 2014-2015.

Caso	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Provincia	Córdoba	Santa Fe	Santa Fe	Santa Fe	Santa Fe	Entre Ríos	Córdoba	Entre Ríos	Santa Fe
Cuenca	sur	centro	centro	sur	sur	principal	Villa María	principal	sur
Superficie (ha)	240,0	193,8	108,3	307,8	123,0	262,0	220,0	189,3	155,0
Superficie tambo (haVT)	146,3	150,8	103,4	283,0	120,2	260,6	180,9	163,0	133,3
Producción anual (L/año)	1 338 361	1 863 467	1 336 500	2 645 083	1 040 480	2 521 605	976 699	828 586	798 386
Rodeo (VT)	205	235	204	343	157	288	170	162	136
Carga Animal (VT/haVT)	1,40	1,56	1,97	1,21	1,31	1,11	0,94	0,99	1,02
Suplementación (kg conc/L)	0,427	0,317	0,252	0,434	0,314	0,246	0,473	0,364	0,118
Recursos humanos (EH)	5,46	7,50	8,10	5,17	5,33	8,19	6,24	5,50	6,24
Categorización	AA	AM	AB	MA	MM	MB	BA	BM	BB

Nota: ha (hectáreas); haVT (hectárea vaca total); VT (vacas totales); L (litros); kg conc (kilogramos de alimento concentrado); EH (equivalentes hombre); AA (carga animal y suplementación altas); AM (carga alta, suplementación media); AB (carga alta, suplementación baja); MA (carga media, suplementación alta); MM (carga y suplementación medias); MB (carga media, suplementación baja); BA (carga baja, suplementación alta); BM (carga baja, suplementación media); BB (carga y suplementación bajas). / Note: ha (hectares); haVT (hectare adult cow); VT (total cows); L (liters); kg conc (kilograms of feed supplementation); EH (full time equivalent); AA (high stock rate and food supplementation); AM (high stock rate & medium food supplementation); AB (high stock rate & low food supplementation); MA (medium stock rate & high food supplementation); MM (medium stock rate & food supplementation); MB (medium stock rate & low food supplementation); BA (low stock rate & high food supplementation); BM (low stock rate & medium food supplementation); BB (low stock rate & food supplementation).

Se utilizó la metodología de estudio de casos (Stake, 2007), que permite abordar cada unidad en su totalidad, para un relevamiento exhaustivo de la misma. Se estipuló un criterio de seguimiento hasta que los bienes obtenidos son dispuestos en puerta del establecimiento, sin considerar su posterior transporte, almacenaje, transformación, empaquetado, comercialización y consumo.

El estudio de casos resulta útil para detectar interacciones de sus componentes y configurar los flujos de energía dentro de cada sistema. Respecto de este último punto, se dispuso la construcción de flujogramas energéticos, basados en los conceptos de Odum (1996). El modelado conceptual a través de los símbolos energéticos es una herramienta de gran poder, tanto desde el punto de vista heurístico como analítico, ya que clarifica los objetivos, organiza y agrupa los datos disponibles y pone de manifiesto vacíos de información. Además, obliga al investigador a hacer explícitos los componentes de un determinado problema, así como a reflexionar sobre la naturaleza de

estos y su relación con otros, en términos de flujos de materia, energía e información, y puede incluso derivar en la producción directa de simulaciones o de índices para la comparación entre sistemas (Abel, 2003; 2004; Odum & Odum, 2000).

Al aplicar la simbología descrita por Haden (2002) (Figura 1), es posible determinar en detalle las fuentes de energía participantes en los sistemas y subsistemas de producción, los flujos, interacciones y transacciones, las unidades productoras, consumidoras y sumideros energéticos.

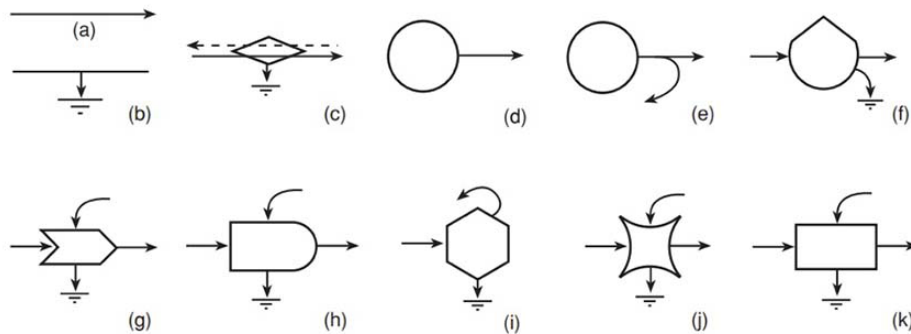


Figura 1. Simbología del lenguaje de análisis energético. Fuente: Haden (2002).

Referencias: (a) flujo energético, (b) disipador de calor, (c) transacción, (d) fuente de fuerza controlada, (e) fuente de flujo controlado/fuente renovable, (f) almacén, (g) interacción, (h) productor, (i) consumidor, (j) interruptor, (k) caja.

Figure 1. Energy analysis language symbology. Source: Haden (2002).

References: (a) energy flow, (b) heat sink, (c) transaction, (d) force-controlled source, (e) flow-controlled source/renewable source, (f) storage, (g) interaction, (h) producer, (i) consumer, (j) switching action, (k) box.

Estos símbolos descritos por Haden (2022) conforman un lenguaje propio del análisis de flujos de materia y energía, donde es posible conceptualizar cada uno de ellos:

- Flujo energético: representación del camino recorrido por la energía en proporción a la cantidad almacenada en la fuente que la produce.
- Disipador de calor: dispersión de energía potencial en calor que acompaña a todos los procesos de transformación y almacenamientos reales; pérdida de energía por uso posterior del sistema.
- Transacción: unidad que representa la venta de bienes y servicios (línea sólida) a cambio de un flujo monetario (línea discontinua).
- Fuente de fuerza controlada: fuente de energía o entrega de suministros constantes en proporción a la demanda del sistema.
- Fuente de flujo controlado/fuente renovable: fuente de energía con un flujo determinado y disponible por unidad de tiempo.
- Almacén: compartimento dentro del sistema donde se almacena energía.
- Interacción: intersección de al menos dos flujos de energía, que se integran y producen un flujo de salida en proporción a ambos; válvula de control de un flujo sobre otro.
- Productor: unidad de recolección y transformación de energía de baja calidad bajo interacciones controladas de flujos de alta calidad.
- Consumidor: unidad que transforma la calidad de la energía, puede almacenarla y retroalimentarse de manera autocatalítica, para mejorar el flujo de entrada de energía.

- Interruptor: activador o desactivador de un proceso, a partir de la interacción de una o más entradas de energía.
- Caja: símbolo misceláneo para ser usado con cualquier función o unidad. Utilizado dentro de un sistema mayor representa un subsistema.

Una vez analizados los sistemas y sus características, se modelizaron flujogramas energéticos, basados en los conceptos de Odum (1996). Con base en las cantidades de materia ingresada y egresada, multiplicadas por sus respectivos contenidos energéticos, se realizó la contabilidad energética, determinándose indicadores como egreso energético (EE), ingreso energético (IE) y eficiencia en el uso de la energía (EE/IE). El procedimiento completo de contabilidad y un detalle de los contenidos energéticos se describe en una segunda parte del trabajo, las unidades de expresión de los indicadores se establecieron en gigajoules por hectárea y por año (GJ/ha/año), a excepción de la eficiencia, que, por tratarse de una relación entre variables con similares unidades, resulta adimensional.

Resultados

Sistemas y subsistemas

Del análisis de los establecimientos se determinaron tres situaciones, que corresponden en gran medida a los planteos lecheros más frecuentes dentro de la cuenca. Estos se exponen en las Figuras 2, 3 y 4, en diagramas de flujos energéticos.

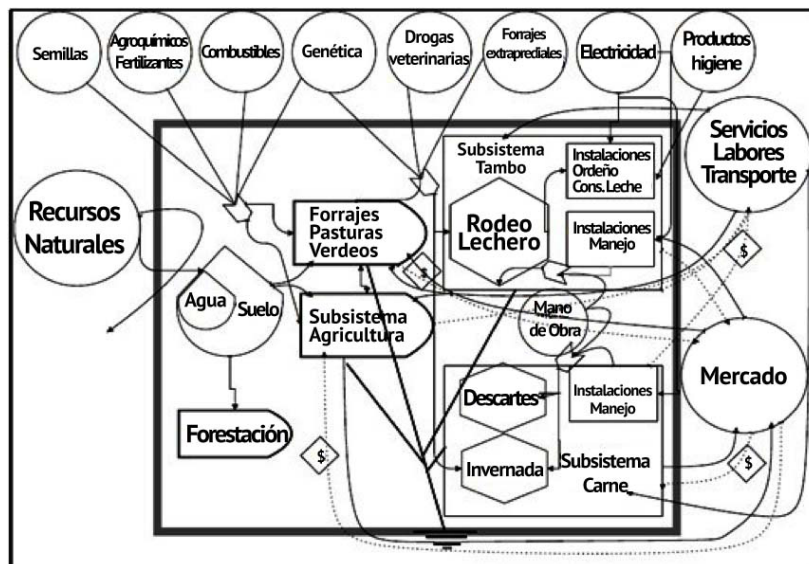


Figura 2. Sistema mixto lechero-agrícola con invernada (proceso de engorde), en establecimientos de producción primaria de la región pampeana Argentina, durante el periodo de evaluación y análisis energético, 2014-2015.

Fuente: elaboración propia sobre base conceptual propuesta por Odum (1996).

Figure 2. Mixed dairy-agricultural with fattening system in primary production establishments on the Argentina Pampa's region, during the evaluation and energy analysis period, 2014-2015.

Source: Own elaboration on a conceptual basis proposed by Odum (1996).

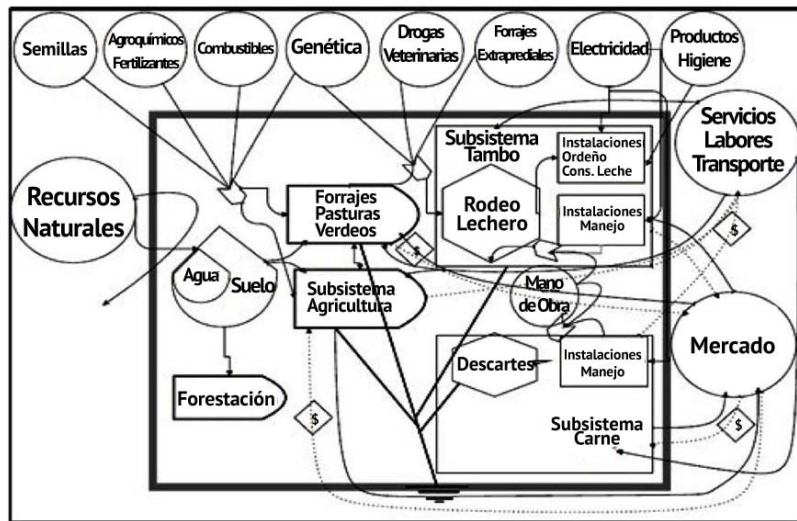


Figura 3. Sistema mixto lechero-agrícola en establecimientos de producción primaria de la región pampeana Argentina, durante el periodo de evaluación y análisis energético, 2014-2015.

Fuente: elaboración propia sobre base conceptual propuesta por Odum (1996).

Figure 3. Mixed dairy-agricultural system in primary production establishments on the Argentina Pampa's region, during the evaluation and energy analysis period, 2014-2015.

Source: Own elaboration on a conceptual basis proposed by Odum (1996).

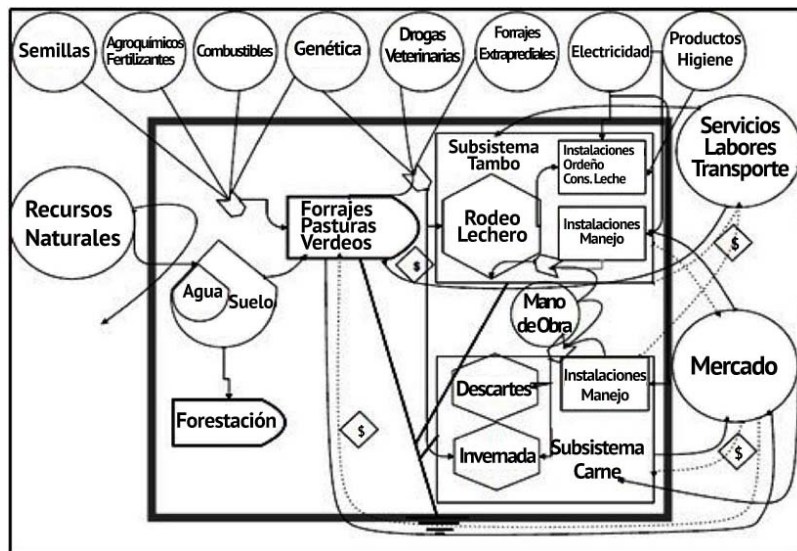


Figura 4. Sistema lechero con invernada (proceso de engorde) complementaria en establecimientos de producción primaria de la región pampeana Argentina, durante el periodo de evaluación y análisis energético, 2014-2015.

Fuente: elaboración propia sobre base conceptual propuesta por Odum (1996).

Figure 4. Dairy system with complementary fattening in primary production establishments on the Argentina Pampa's region, during the evaluation and energy analysis period, 2014-2015.

Source: Own elaboration on a conceptual basis proposed by Odum (1996).

Los sistemas en su interior contaron con componentes vegetales, productores o generadores de energía, así como depósitos de almacenamiento de materia y energía. El interior de cada sistema se organizó sobre la presencia de subsistemas, que pudieran relacionarse con la producción vegetal o animal (para leche y/o carne).

El primero de los modelos contempla un sistema mixto de alta diversificación (Figura 2), en el cual se aprecian subsistemas basados en unidades consumidoras, donde la producción de leche se le suma carne procedente de los descartes, la ceba de algunas categorías como vaquillonas, novillos, novillitos. Además, incorpora subsistemas conformados por productores, que suman la producción de biomasa vegetal, tanto de cultivos agrícolas como de forrajes elaborados en el predio y disponibles para su venta al mercado. En el estudio, esta configuración solo correspondió al caso 8.

Un segundo sistema mixto (Figura 3), donde también hubo subsistemas basados en organismos consumidores (producción animal) y productores (biomasa vegetal). La diferencia con la Figura 2, fue que la producción de carne se consideró solo por la venta de animales de refugio⁶ o desecho, sin comercialización de otras categorías sometidas a una instancia de engorde o ganancia de peso. Esta descripción fue aplicable a los casos 2, 3, 5 y 9.

El tercer sistema detectado (Figura 4) que se correspondió con los casos 1, 4, 6 y 7, es ganadero puro, donde toda la producción energética está basada en el planteo lechero, sea a partir del fluido lácteo, como de la carne derivada de su rodeo (descartes e invernada complementaria) y de los forrajes producidos en el predio, que exceden el uso para satisfacción de los requerimientos del ganado.

Estos tres sistemas definidos, resultaron independientes de los parámetros de carga animal y suplementación alimentaria, aunque la magnitud de los flujos se modifica en función de estas variables.

Fuentes y flujos

Todos los sistemas resultaron influenciados por su entorno natural (precipitaciones, vientos, temperatura, entre otros) y desde la dimensión sociocultural, ya que el factor antrópico es aportante de bienes o insumos (semillas, agroquímicos y fertilizantes, genética, medicamentos destinados a la sanidad animal, otros) y servicios (energía eléctrica, labores prediales, transporte) destinados a la producción. En todos los casos estuvieron presentes los vínculos con el mercado, promoviéndose el intercambio de bienes y servicios por capital.

La vastedad de fuentes de energía creó una multiplicidad de flujos tanto de entrada a los sistemas (*inputs*), como salidas al entorno (*outputs*). Los valores de los indicadores se exponen en Cuadro 2.

Cuadro 2. Indicadores energéticos (ingreso, egreso y eficiencia) para los tres modelos de producción primaria de leche más frecuentes en las provincias de Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos, Argentina, durante el período de evaluación y análisis energético, 2014-2015.

Table 2. Energy indicators (input, output, and efficiency) for three most frequent models dairy farms located in Cordoba, Santa Fe, and Entre Rios, provinces of Argentina, during the evaluation and energy analysis period, 2014-2015.

Sistemas	Mixto lechero - agrícola con invernada	Mixto lechero - agrícola	Lechero con invernada complementaria
Indicadores			
Ingreso energético (IE) (GJ/ha/año)	333,9	244,3	212,0
Egreso energético (EE) (GJ/ha/año)	54,8	109,9	145,0
Eficiencia energética (EE/IE)	0,16	0,45	0,68

⁶ Por refugio se entiende a los animales que son excluidos o eliminados del rodeo productivo, debido a causas diversas, p.e. baja producción, sanidad, otras.

Se observó que en términos promedio, los sistemas ganaderos puros lograron una mayor eficiencia, a raíz de sus elevadas producciones y un menor consumo de energía. Por el contrario, los sistemas con mayor diversificación resultaron menos eficientes, debido en gran medida a la cantidad de energía ingresada (IE) al sistema para su funcionamiento. Se observó que el sistema mixto lechero-agrícola con invernada tuvo un desbalance en las entradas de agroquímicos y fertilizantes con relación a los otros modelos, en los cuales las principales fuentes son el recurso hídrico y los alimentos concentrados (Figura 5). La energía insumida durante el proceso de producción y vinculada a la mano de obra, resultó despreciable.

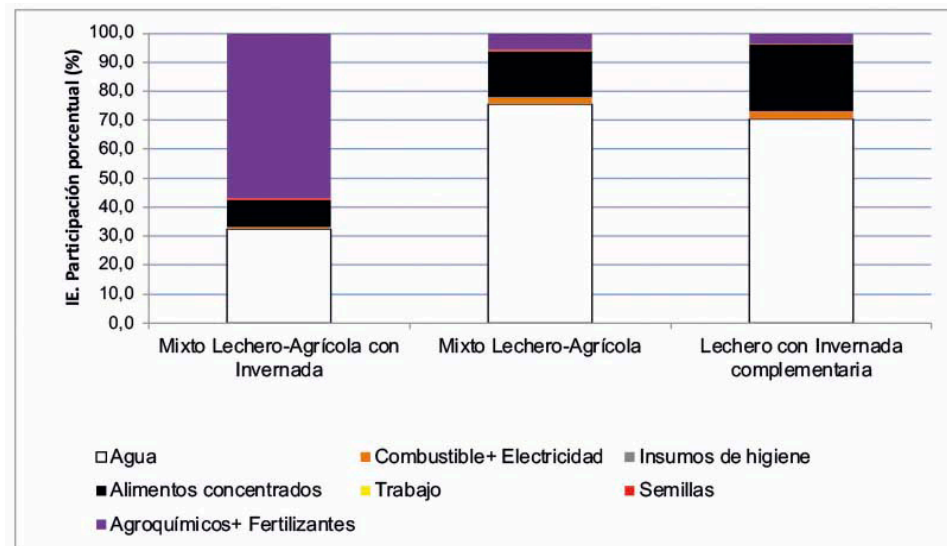


Figura 5. Componentes del ingreso energético para los tres modelos de producción primaria de leche más frecuentes en las provincias de Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos, Argentina, durante el período de evaluación y análisis energético, 2014-2015.

Figure 5. Energy input's components for the three most frequent models of primary milk production located in Cordoba, Santa Fe, and Entre Rios provinces of Argentina, during the evaluation and energy analysis period, 2014-2015.

Gran proporción de los EE (un 80 %) se correspondieron con la producción de cultivos (con destino agrícola y/o forrajero), que aportaron mayor energía que los productos de origen animal, inclusive por sobre la producción de leche, sustento de la actividad. El aporte del producto cárnico resultó cercano al 2 % de los egresos energéticos del sistema, una escasa contribución que se evidenció tanto en los sistemas con proceso de engorde de animales, como en los que solo comercializan animales de descarte (Figura 6).

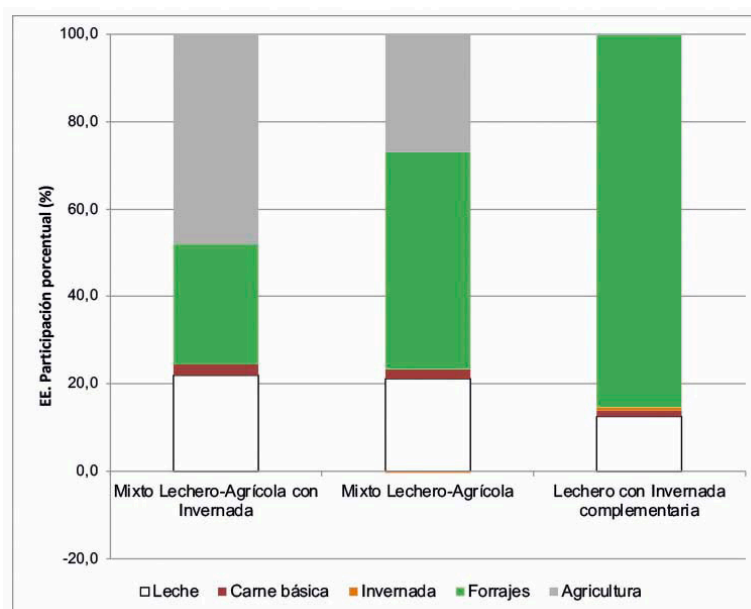


Figura 6. Componentes del egreso energético para los tres modelos de producción primaria de leche más frecuentes en las provincias de Córdoba, Santa Fe y Entre Ríos, Argentina, durante el período de evaluación y análisis energético, 2014-2015.

Figure 6. Energy output's components for the three most frequent primary milk production models located in Cordoba, Santa Fe, and Entre Rios provinces of Argentina, during the evaluation and energy analysis period, 2014-2015.

Discusión

Los resultados obtenidos mostraron valores de eficiencia inferiores a los relatados por Llanos et al. (2013) para lecherías de Uruguay, aunque coinciden con los obtenidos por Tieri et al. (2017), en la cuenca central de Argentina. Las diferencias entre las experiencias pueden relativizarse por causa de los enfoques adoptados y los límites impuestos al análisis energético. Por caso, en las evaluaciones tradicionales se contabilizan los flujos de energías fósiles, aunque no incluyen otras fuentes que pueden resultar imprescindibles para el proceso productivo. Autores como Campos Palacín & Naredo Pérez (1980) plantearon como aportes energéticos solo a aquellos que han sufrido alguna transformación previa por la acción del hombre antes de usarlos en la actividad agraria.

En este trabajo, se incluyó al recurso hídrico en el inventario de la actividad lechera, debido a su carácter subsidiario de la producción (como el agua utilizada de manera directa para bebida por parte de los animales y para la limpieza e higiene de las instalaciones y refrescado y conservación de la leche). Su aporte, cercano al 70 % de las entradas en los sistemas analizados, justifica su incorporación al análisis, en concordancia con la propuesta de Velázquez (2011), de considerar la dimensión hídrica de los procesos productivos o metabolismo hídrico (si se hace referencia a los flujos físicos de entrada y salida de agua de una economía, como metodología complementaria al metabolismo socioeconómico). Sin embargo, la mayoría de los estudios realizados hasta el momento, no incluyen el uso y consumo de agua, porque este puede ser tal que distorsione el análisis, si se analiza junto con el resto de materiales (Carpintero, 2005; Velázquez, 2011). Esto también queda refrendado por los resultados obtenidos en este trabajo.

La asignación de un lugar en el análisis a la energía del trabajo humano resulta ineludible a nivel gráfico, dada la prodigalidad de intercambios con el sistema a partir de insumos provistos, servicios proporcionados y capital circulante en las transacciones, pese al escaso aporte energético directo que provee. Es avalada además, por la

bibliografía que afirma la necesidad de internalizar a las tendencias demográficas, sociales, culturales o económicas como parte de los flujos biogeoquímicos e hidrológicos de los ecosistemas, desde escalas pequeñas hasta el nivel de cuencas hidrográficas y ecosfera (Arias Arbeláez, 2006; Folke et al., 1996), o que conciben que la sociedad humana y sus actividades económicas deben entenderse como componente dinámico del ecosistema y no como un elemento externo causal de perturbaciones (Lomas et al., 2005). Desde el punto de vista social, el capital humano evita el despoblamiento del medio rural, la migración a las grandes ciudades y constituye una fuente importante de empleo. Estas fuentes de provisión energética, al ser incorporadas al proceso de evaluación, enriquecen el análisis, robustecen los resultados obtenidos y contribuyen al estudio de las modificaciones de los flujos energéticos en los ecosistemas por causa de actividades agrícolas, producción de cultivos y ganadería (Paruelo & Batista, 2006).

Importa diferenciar entre el subsistema agrícola y los subsistemas para carne y leche, porque el primero se constituye como un componente productor de biomasa, tanto aérea como subterránea, base de la trama trófica, denominada Productividad Primaria Neta (Paruelo & Batista, 2006). En contraposición, los subsistemas para leche y carne son bastante más complejos, por cuanto se integran a partir de componentes productores (forrajes y cultivos) y consumidores, quienes, al hacer uso de la biomasa vegetal de los primeros, promueven un salto de energía, cuya reducción es enorme, debido a que parte de esta es perdida como calor, parte no es utilizada por los herbívoros; mientras que la procesada por los animales constituye la Productividad Secundaria (Paruelo & Batista, 2006). Este salto energético explica el mayor aporte de cultivos agrícolas y forrajeros en la expresión de los egresos energéticos de los sistemas y reduce los productos de origen animal a una participación cercana a un 20 %. Sin embargo, la cantidad de energía producida en los sistemas mixtos, no significa una ventaja cuantitativa y comparativa con respecto a los sistemas ganaderos puros, ya que estos últimos compensan la energía producida por la agricultura de cereales y oleaginosas con la producción de forrajes, sea con destino a consumo interno (dentro del predio) o para su exportación (venta o comercialización a terceros) del sistema.

Conclusiones

La aplicación del método de análisis energético sobre sistemas reales de producción de leche presentes en la Región Pampeana Argentina, permitió analizar la heterogeneidad de los modelos de producción primaria y, a partir de la visualización de sus componentes e interacciones, definir sistemas, con características diferenciales, multiplicidad de flujos y complejidad, a través de diagramas con flujos de energía. Cada flujograma resultó útil y práctico para determinar los requerimientos de materia y energía (inventario), y de esta manera evaluar en forma cuantitativa los ingresos, egresos y eficiencia de uso de la energía; con la asignación de niveles de importancia a recursos utilizados en el proceso, tales como el agua involucrada de manera directa en la producción primaria, y el trabajo humano.

A partir de esta experiencia, y dada la importancia de los factores integrados al análisis energético, resultaría de interés profundizar el estudio, incrementar la muestra de sistemas reales, y proponer modelos de simulación de escenarios para los sistemas definidos.

Referencias

- Abel, T. (2003). Understanding complex human ecosystems: The case of ecotourism on Bonaire. *Conservation Ecology*, 7(3), Article 10. <http://www.consecol.org/vol7/iss3/art10>
- Abel, T. (2004). Systems diagrams for visualizing macroeconomics. *Ecological Modelling*, 178(1-2), 189-194. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.12.035>

- Alemán Pérez, R., & Brito Flores, J. C. (2003). Balance energético en dos sistemas de producción de maíz en las condiciones de Cuba. *Centro Agrícola*, 30(3), 84-87. <https://bit.ly/3aHL5IM>
- Arias Arbeláez, F. A. (2006). *Desarrollo sostenible y sus indicadores* [Documento de trabajo N° 93]. Centro de Investigaciones y Documentación Socioeconómica. <https://bit.ly/3O61LIn>
- Baldini, C., & Mendizábal, A. (2019). Entre los commodities, el agronegocio y una población que demanda avanzar hacia la agroecología: pensar las políticas públicas agroecológicas en Argentina a partir de la reflexión sobre experiencias en Francia. *Revista Cardinalis*, 7(13), 82–116. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/cardi/article/view/27169>
- Brown, M. T., & Herendeen, R. A. (1996). Embodied energy analysis and EMERGY analysis: a comparative view. *Ecological Economics*, 19(3), 219-235. [https://doi.org/10.1016/S0921-8009\(96\)00046-8](https://doi.org/10.1016/S0921-8009(96)00046-8)
- Buelink, D., Schaller, A., & Labriola, S. (1996). *Principales cuencas lecheras argentinas* (2ª ed.). Departamento de Lechería. Secretaría de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Campos Palacín, P., & Naredo Pérez, J. M. (1980). La energía en los sistemas agrarios. *Agricultura y sociedad*, 15, 17-113. <http://hdl.handle.net/10261/20594>
- Carpintero, O. (2005). *El metabolismo de la economía española: Recursos naturales y huella ecológica (1955-2000)*. Fundación César Manrique.
- Chamorro, A. M., Golik, S. I., Bezus, R., & Pellegrini, A. E. (2015). Análisis energético de cuatro secuencias de cultivo en la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences*, 31(3), 20-31. <http://doi.org/10.4067/S0719-38902016000100003>
- Denoia, J., Bonel, B. A., Montico, S., & Di Leo, N. (2008). Análisis de la gestión energética en sistemas de producción ganaderos. *Revista FAVE- Ciencias Agrarias*, 7(1-2), 43-56.
- Folke, C., Holling, C. S., & Perrings, C. (1996). Biological diversity, ecosystems, and the human scale. *Ecological Applications*, 6(4), 1018-1024. <https://doi.org/10.2307/2269584>
- Gastaldi, L., Engler, P., Litwin, G., Centeno, A., Maekawa, M., & Cuatrin, A. (2016). *Lechería Pampeana. Resultados Productivos. Ejercicio 2014-2015*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://bit.ly/399x2va>
- Gastaldi, L., Litwin, G., Maekawa, M., Centeno, A., Engler, P., Cuatrin, A., Chimicz, J., Ferrer, J. L., & Suero, M. (2015). *El Tambo Argentino: una mirada integral a los sistemas de producción de leche de la Región Pampeana*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://bit.ly/3OaC8X8>
- Gimenez, G. D. (2017). *Sustentabilidad en lecherías de Argentina. Evaluación de la gestión de sustentabilidad en sistemas de producción primaria de leche en la región pampeana argentina*. Editorial Académica Española.
- Haden, A. C. (2002). *Energy analysis of food production at S&S homestead farm*. S&S Center for Sustainable Agriculture. <https://bit.ly/3HbhjIA>
- Herendeen, R. A. (2004). Energy analysis and EMERGY analysis—a comparison. *Ecological Modelling*, 178(1-2), 227-237. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.12.017>
- Kent, P. (2016). *Sustentabilidad socio-ambiental de las MIPYES argentinas* (1ª ed.). Osman D. Buyatti Librería Editorial. <https://bit.ly/3O767z3>

- Litwin, G., Gimenez, G., Álvarez, H., Esnaola, I., Centeno, A., Moretto, M., Maekawa, M., Butarelli, S., Engler, P., Spilj, G., Almada, G., Ferrer, J., Tieri, M., & Charlón, V. (2017). Propuesta para medir la sustentabilidad de tambos en la Región Pampeana. *Revista Técnica Planteos Ganaderos*, 2017, 82-86. <https://bit.ly/3aPmFgI>
- Llanos, E., Astigarraga, L., Ruben, J., & Picasso, V. (2013). Eficiencia energética en sistemas lecheros del Uruguay. *Agrociencia Uruguay*, 17(2), 99-109.
- Lomas, P. L., Martín, B., Rodríguez, M., & Montes, C. (2005). *La síntesis emergética ("Emergy synthesis")*. Integrando energía, ecología y economía [Serie Monografías N° 2]. Fundación Interuniversitaria Fernando González Bernáldez.
- Milo Vaccaro, M., Larripa, M., Cechetti, S., & Acebal, M. A. (2018). *Sustentabilidad en sistemas de producción agropecuarios pampeanos: propuesta metodológica*. Editorial de la Universidad Nacional de Rosario.
- Montico, S., Di Leo, N., Bonel, B., & Denoia, J. (2007). *Gestión de la energía en el sector rural*. Universidad Nacional del Rosario Editora.
- Odum, H. T. (1996). *Environmental accounting: Energy and environmental decision making*. John Wiley & Sons.
- Odum, H. T., & Odum, E. C. (2000). *Modelling for all scales. An introduction to system simulation*. Academic Press.
- Paruelo, J. M., & Batista, W. (2006). Flujo de energía. En M. van Esso (Ed.), *Ecología, enseñanza con un enfoque novedoso* (Capítulo 6, pp. 97-115). Editorial Facultad de Agronomía y Editorial Novedades Educativas. <https://www.agro.uba.ar/users/batista/EE/papers/paruelo.pdf>
- Patiño, E. M. (2005). *El desafío del desarrollo lechero en las provincias del NEA*. Sitio Argentino de Producción Animal. <https://bit.ly/3trLcia>
- Petrecolla, D. (2016). *Estudio sobre las condiciones de competencia en el sector lechero de la República Argentina*. Observatorio de la Cadena Láctea Argentina. <https://bit.ly/3zCJaQ2>
- Pfeiffer, D. A. (2006). Comemos combustibles fósiles. *Polis Revista Latinoamericana*, 14, Artículo 5246. <https://journals.openedition.org/polis/5246>
- Pimentel, D. & Pimentel, M. H. (2007). *Food, energy and society* (3rd ed.). CRC press.
- Proyecto Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agropecuario del Cono Sur. (2000). *Estrategia para la integración tecnológica agroalimentaria y agroindustrial en el Mercosur ampliado* (1^a ed.). <https://bit.ly/3mTy6a1>
- Rigby, D., & Cáceres, D. (2001). Organic farming and the sustainability of agricultural systems. *Agricultural Systems*, 68(1), 21-40. [https://doi.org/10.1016/S0308-521X\(00\)00060-3](https://doi.org/10.1016/S0308-521X(00)00060-3)
- Rótoló, G., & Charlón, V. (2013). *Evaluación ambiental de un sistema de producción intensivo de leche en la cuenca central de Argentina utilizando el análisis de ciclo de vida (ACV) expandido*. Instituto Nacional de tecnología Agropecuaria. <http://doi.org/10.13140/RG.2.1.4309.7842>
- Stake, R. E. (2007). *Investigación con estudio de caso* (4th ed.). Morata.
- Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., & de Haan, C. (2009). *La larga sombra del ganado problemas ambientales y opciones*. Organización de Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Thomassen, M. A., & de Boer, I. J. M. (2005). Evaluation of indicators to assess the environmental impact of dairy production systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 111(1-4), 185-199. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.06.013>

- Tieri, M. P., Charlón, V., Comerón, E., & Mascotti, M. (2017). *La sustentabilidad de nuestros tambos. Estrategias productivas e indicadores ambientales*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. <https://bit.ly/3OoTRu3>
- Toro, P., García, A., Gómez-Castro, A. G., Perea, J., Acero, R., & Rodríguez-Estévez, V. (2010). Evaluación de la sustentabilidad en agroecosistemas. *Archivos de Zootecnia*, 59, 71-94. <https://doi.org/10.21071/az.v59i232.4908>
- Torres-Verzagas, B. E., Leyva-Galán, A., & Del Pozo-Rodríguez, P. P. (2019). Energía: generalidades, apuntes, y ejemplos de utilidad, como herramienta para evaluar la sostenibilidad. *Cultivos Tropicales*, 40(2), Artículo e10.
- Valdés, N., Pérez, D., Márquez, M., Angarica, L., & Vargas, D. (2009). Funcionamiento y balance energético en agroecosistemas diversos. *Cultivos Tropicales*, 30(2), 36-42.
- Velázquez, E. (2011). *Agua Virtual, Huella Hídrica y el binomio agua: energía: repensando los conceptos*. Universidad Pablo de Olavide.
- Vilain, L. (2000). *La méthode IDEA: Indicateurs de durabilité des exploitations agricoles: guide d'utilisation* (1ª ed.). Editions Educagri.